

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2001279397  
PUBLICATION DATE : 10-10-01

APPLICATION DATE : 29-03-00  
APPLICATION NUMBER : 2000090455

APPLICANT : KAWASAKI STEEL CORP;

INVENTOR : HONDA ATSUTO;

INT.CL. : C22C 38/00 C22C 38/34 C23C 22/00 H01F 1/16 H01F 1/18

TITLE : NONORIENTED SILICON STEEL SHEET EXCELLENT IN HIGH FREQUENCY MAGNETIC PROPERTY AND REDUCED IN NOISE

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a means of suppressing noise which becomes a problem when in use of a nonoriented silicon steel sheet having excellent high frequency magnetic properties owing to a component where Cr is incorporated.

SOLUTION: This nonoriented silicon steel sheet has a composition containing, by mass, 1.5-20% Cr and 2.5-10% Si, also containing C and N in amounts reduced, in total, to  $\leq 100$  ppm, and having the balance iron with inevitable impurities and also has  $\geq 60$  m $\Omega$ cm specific resistance. An insulating film of (0.1 to 10) g/m<sup>2</sup> coating weight is formed on the surface of this steel sheet, and  $\geq 5$  mass % resin is incorporated into the insulating film.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-279397

(P2001-279397A)

(43)公開日 平成13年10月13日 (2001.10.10)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

C 22 C 38/00  
38/34  
C 23 C 22/00  
H 01 F 1/16  
1/18

識別記号

3 0 3

F I

ナ-73-ト\*(参考)

C 22 C 38/00  
38/34  
C 23 C 22/00  
H 01 F 1/16  
1/18

3 0 3 U 4 K 0 2 6

5 E 0 4 1

A

A

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 9 頁)

(21)出願番号

特願2000-90455(P2000-90455)

(22)出願日

平成12年3月29日 (2000.3.29)

(71)出願人 000001258

川崎製鉄株式会社

兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号

(72)発明者 小森 ゆか

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

(72)発明者 近藤 修

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

(74)代理人 100059258

弁理士 杉村 眞秀 (外2名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板

(57)【要約】

【課題】 Crを含有させた成分系によって、優れた高周波磁気特性を獲得した無方向性電磁鋼板において、その使用時に問題となる騒音を抑制する方途について提案する。

【解決手段】 Cr: 1.5 mass%以上20mass%以下及びSi: 2.5 mass%以上10mass%以下を含有し、C及びNを合計量で100 ppm以下に低減し、残部は鉄及び不可避的不純物の成分組成に成り、かつ比抵抗が60  $\mu\Omega\text{cm}$ 以上である無方向性電磁鋼板において、鋼板表面に目付量が0.1 ~ 10 g/m<sup>2</sup>の絶縁皮膜を形成し、該絶縁皮膜中に5 mass%以上の樹脂を含ませる。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】Cr : 1.5 mass%以上20mass%以下及びSi : 2.5 mass%以上10mass%以下を含有し、C及びNを合計量で100 ppm 以下に低減し、残部は鉄及び不可避的不純物の成分組成に成り、かつ比抵抗が $60 \mu\Omega\text{cm}$ 以上である無方向性電磁鋼板において、鋼板表面に目付量が0.1 ~ 10 g / m<sup>2</sup> の絶縁被膜を有し、該絶縁被膜中に5 mass%以上の樹脂を含むことを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

【請求項2】Cr : 1.5 mass%以上20mass%以下、Si : 2.5 mass%以上10mass%以下及びAl : 5 mass%以下を含有し、C及びNを合計量で100 ppm 以下に低減し、残部は鉄及び不可避的不純物の成分組成に成り、かつ比抵抗が $60 \mu\Omega\text{cm}$ 以上である無方向性電磁鋼板において、鋼板表面に目付量が0.1 ~ 10 g / m<sup>2</sup> の絶縁被膜を有し、該絶縁被膜中に5 mass%以上の樹脂を含むことを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

【請求項3】Cr : 1.5 mass%以上20mass%以下及びSi : 2.5 mass%以上10mass%以下を含み、Mn及びPのいずれか1種又は2種のそれを1 mass%以下で含有し、C及びNを合計量で100 ppm 以下に低減し、残部は鉄及び不可避的不純物の成分組成に成り、かつ比抵抗が $60 \mu\Omega\text{cm}$ 以上である無方向性電磁鋼板において、鋼板表面に目付量が0.1 ~ 10 g / m<sup>2</sup> の絶縁被膜を有し、該絶縁被膜中に5 mass%以上の樹脂を含むことを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

【請求項4】Cr : 1.5 mass%以上20mass%以下、Si : 2.5 mass%以上10mass%以下及びAl : 5 mass%以下を含み、Mn及びPのいずれか1種又は2種のそれを1 mass%以下で含有し、C及びNを合計量で100 ppm 以下に低減し、残部は鉄及び不可避的不純物の成分組成に成り、かつ比抵抗が $60 \mu\Omega\text{cm}$ 以上である無方向性電磁鋼板において、鋼板表面に目付量が0.1 ~ 10 g / m<sup>2</sup> の絶縁被膜を有し、該絶縁被膜中に5 mass%以上の樹脂を含むことを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

【請求項5】 請求項1ないし4のいずれかにおいて、樹脂のガラス転移点X (°C) と樹脂の目付量Y (g / m<sup>2</sup>) とが、下記式を満足することを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

記

$$1 \ln (Y) \geq 0.04X - 5.5$$

【請求項6】 請求項1ないし5のいずれかにおいて、樹脂のガラス転移点が140 °C以下であることを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、磁気特性に優れ

る無方向性電磁鋼板、特に商用周波数よりも高い周波数において用いる場合に良好な磁気特性を有し、また使用における騒音の少ない無方向性電磁鋼板に関する。

## 【0002】

【従来の技術】Fe-Si合金は、軟質磁気特性に優れる材料として知られていて、主にSi量が3.5 mass%以下の電磁鋼板として商用周波数用の各種鉄心を中心に多用されている。しかし、使用周波数が商用周波数よりも高い場合には、かかるSi量3.5 mass%以下の電磁鋼板では鉄損が大きくなる不利がある。そのため、このような商用周波数よりも高い周波域での鉄損特性を改善するためには、更に電気抵抗の高い材料が求められている。

【0003】ここに、鋼中のSi量を増やせば電気抵抗が増大するから、上記のような高周波域での鉄損を低減する上で好都合である。しかし、その一方で、Si量が3.5 mass%を超えると、合金が極めて硬く脆くなり、加工性が劣ってしまうので圧延による製造、加工が困難となる。特にSi量が5.0 mass%を超える場合には、冷間加工はもちろんのこと、温間加工も不可能になってしまう。

【0004】この高Si鋼の加工性を改良し、6.5 mass%程度のSiを含有しても工業的に鋼板を製造できる技術としては、特開昭61-166923号公報に開示されている低温強圧下の熱間圧延による方法、そして特開昭62-227078号公報に開示されているSiの拡散浸透処理による方法が代表的である。

【0005】しかし、前者の特開昭61-166923号公報に開示された技術は、合金としての脆性を見かけ上改善すべく圧延組織の微妙な調整が必要とされ、製造過程で厳密な制御を行うことから、工業的に安定して生産するのは困難と推定される。一方、後者の特開昭62-227078号公報に開示された技術では、特殊な拡散浸透法を用いるため、工業的な製造を行う場合にはコストにおいて極めて不利と考えられる。しかも、良好な高周波磁気特性を得るために更に電気抵抗を上げるには限界があるものの、Si量をこれらの方法で增量しても、高々 $80 \mu\Omega\text{cm}$ の水準までにとどまざるを得ない。特に、通常の工業的な圧延法で製造できる3.5 mass%以下のSi量の場合、 $50 \mu\Omega\text{cm}$ 台までの比抵抗しか得られなかつた。また、これらのFe-Si合金は、耐食性が劣る点も鉄心などの用途においては問題とされていた。

【0006】また、Alは磁気特性の観点でSiと同様に電気抵抗を増大させる効果があり、しかもSi程は加工性を劣化させないことから、Siの一部をAlで置換することにより、加工性が改善されることが知られている。AlはSiよりコスト高であり、磁束密度の減少が大きいなどの弱点があるが、例えばSi : 3 mass%、Al : 0.7 mass%の組成の鋼は、Si : 3.7 mass%の組成の鋼よりも加工性、冷延性が良好であり、磁気特性がほぼ同等である。

【0007】しかし、Si : 3 mass%以上の鋼において、SiとAlとの合計量が4 mass%以上になると、冷間圧延が

不能となり、更に、SiとAlとの合計量が6 mass%を超える場合には、温間圧延も困難になっていた。しかも、この場合も結局、工業的には $60\mu\Omega\text{cm}$ 未満の比抵抗しか得られていなかった。

【0008】いずれにしても、単なるSiやAlの増加により高周波域での鉄損低減を図るよりも、本質的に加工性の改善された新たな成分系に従う合金によって、高周波域にわたる磁気特性と共に、加工性をも確保し、更に、耐食性と低廉性を満たすことが望ましい。

【0009】そこで、発明者らは、Fe-Si合金やFe-Si-Al合金について、高い固有抵抗と合金の良好な加工性の両立を達成すべく研究開発を行った末に、Crを共存させることが有効であるとの知見を得て、その成果を開平11-343544号公報に開示した。すなわち、これまでには、Fe-Si合金やFe-Si-Al合金において、Crを添加するほど韌性は劣化すると考えられてきたが、Siが3 mass%以上の含有量であっても、C及びNの含有量を十分に低減した上で、一定量以上のCrを含有させることにより、むしろ高い韌性が得られること、またCrをSiやAlとともに含有させることにより、電気抵抗の増大に起因して高周波域での鉄損低減が実現されること、をそれぞれ見出した。特に、製造時の加工性が改善されるならば、板厚の薄い鋼板とすることが可能となるから、更なる高周波磁気特性の改善が期待できるのである。

#### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】かように電磁鋼板に必要とされる基本的な性能の向上が実現したが、無方向性電磁鋼板にはさらに様々な性能が必要とされ、とりわけ高周波磁気特性に優れた無方向性電磁鋼板においては使用時の騒音の低減が大きな課題となっている。すなわち、無方向性電磁鋼板における騒音は、該鋼板を電気機器の鉄心に用いた際などに、主に磁歪振動に起因して生じるものであり、特に使用周波数が高い場合には、騒音の抑制は必須である。

【0011】そこで、この発明は、Crを含有させた成分系によって、優れた高周波磁気特性を獲得した無方向性電磁鋼板において、その使用時に問題となる騒音を抑制する方途について提案することを目的とする。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】すなわち、この発明の要旨構成は次のとおりである。

(1) Cr : 1.5 mass%以上20mass%以下及びSi : 2.5 mass%以上10mass%以下を含有し、C及びNを合計量で100 ppm以下に低減し、残部は鉄及び不可避的不純物の成分組成に成り、かつ比抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上である無方向性電磁鋼板において、鋼板表面に目付量が $0.1 \sim 10\text{ g/m}^2$ の絶縁被膜を有し、該絶縁被膜中に5 mass%以上の樹脂を含むことを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

【0013】(2) Cr : 1.5 mass%以上20mass%以下、S

i : 2.5 mass%以上10mass%以下及びAl : 5 mass%以下を含有し、C及びNを合計量で100 ppm以下に低減し、残部は鉄及び不可避的不純物の成分組成に成り、かつ比抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上である無方向性電磁鋼板において、鋼板表面に目付量が $0.1 \sim 10\text{ g/m}^2$ の絶縁被膜を有し、該絶縁被膜中に5 mass%以上の樹脂を含むことを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

【0014】(3) Cr : 1.5 mass%以上20mass%以下及びSi : 2.5 mass%以上10mass%以下を含み、Mn及びPのいずれか1種又は2種のそれを1 mass%以下で含有し、C及びNを合計量で100 ppm以下に低減し、残部は鉄及び不可避的不純物の成分組成に成り、かつ比抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上である無方向性電磁鋼板において、鋼板表面に目付量が $0.1 \sim 10\text{ g/m}^2$ の絶縁被膜を有し、該絶縁被膜中に5 mass%以上の樹脂を含むことを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

【0015】(4) Cr : 1.5 mass%以上20mass%以下、Si : 2.5 mass%以上10mass%以下及びAl : 5 mass%以下を含み、Mn及びPのいずれか1種又は2種のそれを1 mass%以下で含有し、C及びNを合計量で100 ppm以下に低減し、残部は鉄及び不可避的不純物の成分組成に成り、かつ比抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上である無方向性電磁鋼板において、鋼板表面に目付量が $0.1 \sim 10\text{ g/m}^2$ の絶縁被膜を有し、該絶縁被膜中に5 mass%以上の樹脂を含むことを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

【0016】(5) 上記(1)ないし(4)のいずれかにおいて、樹脂のガラス転移点X(℃)と樹脂の目付量Y(g/m<sup>2</sup>)とが、下記式(イ)を満足することを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

記

$$\ln(Y) \geq 0.04X - 5.5 \quad \text{--- (イ)}$$

ここで、 $\ln$ は自然対数である。

【0017】(6) 上記(1)ないし(5)のいずれかにおいて、樹脂のガラス転移点が140℃以下であることを特徴とする高周波磁気特性に優れかつ騒音の少ない無方向性電磁鋼板。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】以下、この発明の無方向性電磁鋼板について、まず、その成分組成の各成分範囲の限定理由を説明する。

Cr : 1.5 mass%以上20.0 mass%以下

Crは、SiまたはAlとの相乗効果によって電気抵抗を大幅に向上させて高周波域での鉄損を低減し、更には耐食性を向上させる基本的な合金成分であり、特に、3.5 mass%以上のSiを含有する場合、又は3 mass%以上のSiかつ1 mass%を超えるAlを含有する場合であっても、

温間圧延可能な程度の韌性を得るのに極めて有効であり、その観点からは2 mass%以上を要する。なお、Si量やAl量が上記範囲よりも少ない場合には、Cr量が2 mass%未満でも加工性が確保できるが、Crの加工性向上効果を発揮させ、かつ合金の比抵抗を $60 \mu\Omega\text{cm}$ 以上とするためには、1.5 mass%以上のCrが必須である。一方、Cr量が20 mass%を超えると韌性向上の効果が飽和するとともに、コスト上昇を招くため、Crの含有量は1.5 mass%以上20 mass%以下、好ましくは10 mass%以下と規定する。

【0019】Si : 2.5 mass%以上10 mass%以下  
Siは、Crとの相乗効果によって電気抵抗を大幅に上昇させ、高周波域での鉄損を低減するのに有効な成分である。しかし、Si量が2.5 mass%未満ではCrやAlを併用しても磁束密度をあまり犠牲にせずに $60 \mu\Omega\text{cm}$ 以上の比抵抗を得るには至らない。一方、10 mass%を超えるとCrを含有させても温間圧延可能なまでの韌性が確保できないため、Siの含有量は2.5 mass%以上10 mass%以下、好ましくは7 mass%以下、より好ましくは3.5 mass%以上7 mass%以下とする。

【0020】Al : 5 mass%以下  
Alは、Siと同様、Crとの相乗効果によって電気抵抗を大幅に向上させ、高周波域での鉄損を低減するのに有効な成分であるため、この発明では必要に応じてAlを含有させることができる。しかし、Al量が5 mass%を超えるとコスト上昇を招く上に、Crの含有によっても温間圧延可能なまでの韌性が確保できなくなるため、Alは5 mass%以下の下で含有させる必要がある。一方、Alの下限は特に限定する必要はないが、脱酸や結晶粒成長性の改善を所期する場合は、0.005～0.3 mass%程度を含有させ、またAlを積極的に電気抵抗の増大のために活用する場合は、0.5 mass%以上の範囲で含有させることが好ましい。したがって、Alは0.005 mass%以上で含有せることが好ましく、より好ましくは0.5 mass%以上3 mass%以下とする。

【0021】C及びN : 合計量で100 ppm以下  
C及びNは、Fe-Cr-Si系合金の韌性を劣化させるためにできる限り低減する必要があり、この発明に従うCr量、Si量及びAl量の下で高韌性を確保するためには、合計量で100 ppm以下に抑えることが肝要である。好ましくは、C及びNの各々が50 ppm以下、より好ましくは各30 ppm以下とする。

【0022】なお、C及びN以外の不純物量は特に限定されないが、例えばSについては20 ppm以下、好ましくは10 ppm以下、より好ましくは5 ppm以下に、Oについては50 ppm以下、好ましくは30 ppm以下、より好ましくは15 ppm以下に、又は、不純物C+S+N+Oの合計量で120 ppm以下、好ましくは50 ppm以下に、規制することが推奨される。

【0023】Mn及びPのいずれか1種又は2種のそれを1 mass%以下

Mn及びPは、Fe-Cr-Si系合金に更に添加することにより、一層の電気抵抗の上昇を与えることができる。これらの成分の添加により、この発明の趣旨が損なわれることなく、更なる鉄損の低減が達成できる。しかし、これらの成分を大量に添加するとコスト上昇を招くため、それぞれの添加量は1 mass%を上限とする。より好ましくは、それぞれ0.5 mass%以下とする。

【0024】なお、この発明において、磁気特性、耐食性、加工性などを更に向上させる目的で、従来知られている合金成分を追加添加することは、この発明の効果を損なうものではなく、それらの成分を含有させることも可能である。それらの成分の代表例を以下に列記する。

【0025】すなわち、5 mass%以下のNiは、耐食性改善成分であるとともに、延性-脆性遷移温度を下げ、加工性を向上させるほか、結晶粒を微細にさせ易いため、渦電流損を抑制し、高周波鉄損の低減にも効果がある。1 mass%以下のCuにもNiと同様の効果がある。5 mass%以下のMoやWは耐食性を改善する。1 mass%以下のLa、VやNb、0.1 mass%以下のTi、YやZr、0.1 mass%以下のBは、韌性を高めて加工性を向上させる効果がある。5 mass%以下のCoは、磁束密度を向上させ、ひいては鉄損低減に効果がある。0.1 mass%以下のSbやSnは、集合組織を改善し、ひいては鉄損低減に効果がある。

【0026】ちなみに、この発明の磁性材料に優れる高加工性Fe-Cr-Si系合金薄板を製造するには、原料として純度99.9 mass%以上の高純度の電解鉄、電解クロム、金属Si、金属Alを用いることが好ましい。Mn、Pを添加する場合には、これらも高純度原料を用いる。あるいは、転炉法で製造する場合には、所定の純度にまで十分に精錬し、かつ後工程での汚染を受けないように注意が必要である。溶製に際しては、転炉法の他、例えば、高真空( $10^{-3}$  Torr以下の圧力)の真空溶解炉を用いることが好ましい。

【0027】次いで、熱間圧延は、極力薄くまで圧延することによって、次工程の冷間圧延ないしは温間圧延における加工性、すなわち圧延性を良好にすることができます。これは、この発明のFe-Cr-Si系合金組成の場合には、熱延板の表面部分の方が中心部分よりも韌性が高く、加工性が優れているとの新知見に基づくものである。そのための熱延板の厚みは3 mm以下、好ましくは2.5 mm以下、より好ましくは2.0 mm以下とする。

【0028】熱延板の韌性が改善されているため、更に温間や冷間で圧延して0.4 mm以下の厚みの薄板とができる。一般に、板厚を減じると、とりわけ高周波において渦電流損が有利に抑制され、低鉄損になることは周知である。しかし、これまで高電気抵抗の材料は圧延性が悪く、通常の圧延法によっては0.5 mm程度までしか減厚されていなかった。また、単に厚みを減じてもヒステリシス損失のために、十分な鉄損低減ができないとされてきた。この点、この発明では、成分系と純度を

選ぶことにより、減厚した場合の高周波鉄損特性の効果を促進し得ることを見出したのである。かかる減厚の効果を得るためにには、板厚を0.4 mm以下とすることが有効である。ただし、0.01mmよりも薄くするには、コスト上、工業的に無理があるため、板厚の範囲を0.01~0.4 mm、好ましくは0.03~0.35mmと規定する。

【0029】このような減厚のための圧延においては、材料の加工性が優れているため、特に従来のように熱延板を焼鈍したり、冷間圧延ないし温間圧延の途中で中間焼鈍したりして圧延性を確保することが必ずしも必要でなく、熱延板焼鈍や中間焼鈍を省略して作業能率向上、省エネルギー化、コスト低減を図ることができる。その後の焼鈍や表面仕上げは、通常の電磁鋼板や電磁ステンレス鋼板と同様の工程が適用できる。

【0030】最後に、かくして得られた鋼板の表面に目付量: 0.1 ~10 g/m<sup>2</sup> にて絶縁被膜を形成する。この絶縁被膜の形成は、どのような方法でも構わないが、例えば、ロールコーナ、バーコーナ、フローコーナ、スプレー塗装、ナイフコーナ、静電塗装および電着塗装等の種々の方法が適用可能であり、必要に応じて焼き付けを実施すればよい。また、焼き付け方法も、熱風式、赤外線式および誘導加熱式等、特に規制するものではない。

【0031】ここで、絶縁被膜は、5~100 mass%の樹脂を含むことが、肝要である。なぜなら、絶縁被膜中に樹脂が含まれていると、騒音の原因となる鋼板同士の振動が吸収される結果、磁気歪みによる振動を効果的に低減できるからである。この効果は、絶縁被膜中の樹脂含有量が5 mass%以上において発揮されるから、樹脂含有量は5 mass%以上、好ましくは10 mass%以上とする。なお、上限については、特に規制する必要はなく、絶縁被膜が全て樹脂であってもよい。また、配合する樹脂の成分は、どのような種類のものでも、5 mass%以上の添加で振動低減の効果を発揮する。

【0032】この絶縁被膜は、鋼板表面に目付量: 0.1 ~10 g/m<sup>2</sup> で形成する。すなわち、目付量が0.1 g/m<sup>2</sup> 未満では、均一塗布が困難となるため、一定の騒音吸収能力を確保するのが困難になる。一方10 g/m<sup>2</sup> をこえると、被膜密着性が低下する傾向があり、また占積率も低下して実用的でなくなる。

【0033】また、絶縁被膜に含ませる樹脂には、該樹脂のガラス転移点X(℃)と絶縁被膜における樹脂の目付量Y(g/m<sup>2</sup>)とが、上記した式(イ)を満足するものを適用することが好ましい。ここに、C: 5 ppm、Si: 3.8 mass%、Mn: 0.006 mass%、Cr: 4.9 mass%、Al: 0.006 mass%、N: 12 ppm およびO: 14 ppm の成分組成に成り、かつ比抵抗が83 μΩcmである無方向性電磁鋼板の表面に、樹脂目付量およびガラス転移点を種々に変化させた、絶縁被膜を形成し、得られた鋼板について鉄心積層時の騒音を調査した。なお、騒音の調査は、DCブラシレス型のモデルモータ(外径: 108mm φ、内径: 56mm φ および積層: 70mm)を作製して騒音を調査した。

【0034】その結果を図1に示すように、ln(Y) = 0.04X - 5.5 を境に、騒音の低減効果に差があり、上記した式(イ)を満足する範囲において、騒音が著しく低減されることがわかる。従って、絶縁被膜には、上記した式(イ)を満足する樹脂を適用することが有利である。

【0035】とりわけ、樹脂のガラス転移点が140 ℃以下であることが、推奨される。なぜなら、ガラス転移点が低くなるほど、無方向性電磁鋼板の使用温度域で軟らかくなって、衝撃吸収能力が高くなるからである。

【0036】ちなみに、樹脂種は、どのようなものでもよいが、例えばアクリル樹脂、ウレタン樹脂、エポキシ樹脂、アルキッド樹脂、ポリオレフィン樹脂、スチレン樹脂、酢酸ビニル樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、アミド樹脂、イミド樹脂またはこれらの2種以上の共重合や混合樹脂などが挙げられる。

### 【0037】

【実施例】小型溶解炉にて、表1に示す種々の成分組成になる合金を10kgずつ溶製した。これらの鋳塊を40mm×60mm×100 mmのサイズに切り出し、Ar中で1100℃に加熱して30min 保持した後、60mmを20mmに減厚する形状に粗圧延し、更に1100℃に再加熱して15min 保持してから、板厚2.3 mmまでに熱間圧延した。

### 【0038】

#### 【表1】

(mass%又はmassppm)

鋼種	C (ppm)	Si (%)	Mn (%)	P (ppm)	S (ppm)	Cr (%)	Al (%)	N (ppm)	O (ppm)	C+N (ppm)	備考
1	18	3.1	0.005	3	6	-	0.009	10	15	28	比較例
2	7	3.8	0.004	5	5	1.1	0.011	8	9	15	比較例
3	5	3.8	0.006	5	5	4.9	0.006	12	14	17	発明例
4	11	1.6	0.003	5	5	4.8	0.009	10	15	21	比較例
5	2	5.9	0.003	3	2	5.0	0.010	5	9	7	発明例
6	6	3.7	0.23	0.41%	3	5.9	0.010	11	13	17	発明例
7	8	3.9	0.006	2	3	4.5	0.05	11	11	19	発明例
8	27	3.8	0.22	4	5	4.9	0.010	36	20	63	発明例
9	44	3.9	0.22	4	6	4.9	0.009	63	17	107	比較例
10	1	4.8	0.002	1	2	5.3	0.005	5	6	6	発明例
11	0.6	6.4	0.002	2	2	18.3	0.020	4	5	5	発明例
12	5	6.5	0.005	4	4	-	0.010	9	9	14	比較例

【0039】この鋼板から、板厚1.5 mm、幅10mm、長さ55mm、切り欠き2 mm Vノッチのシャルピー試験片を圧延方向と平行に採取し、25°Cおきの温度でシャルピー衝撃値を測定して、脆性破面率が50%になる温度、すなわち延性-脆性遷移温度を脆性の指標として求めた。

【0040】次に、先の2.3 mm厚の熱延板の表面をショットブロストで手入れをしてから、途中焼純なしで冷間圧延を行って0.20mm厚の薄鋼板に仕上げた。但し、遷移温度が室温を超える場合には、300 °Cに予熱して温間圧延とした。また、特に遷移温度が200 °Cを超える場合には、加熱温度を450 °Cとし、パスごとに再加熱する方法で温間圧延とした。続いて、これらの薄鋼板から、外径

30mm、内径20mmのリング状試験片を切り出し、水素中100°Cで60min の焼純ののち、BHアナライザにより周波数10kHz、磁束密度0.1 Tに対する鉄損値を測定した。また、同じ薄鋼板から別途、幅30mm、長さ280 mmの試験片を切り出して上述と同様に焼純し、四端子法によって比抵抗を測定した。表2に各鋼種の遷移温度と温間圧延の加熱方法、比抵抗及び鉄損値を示す。また、耐食性はJIS Z2371に準拠した塩水噴霧試験を2時間行い、板表面の錆発生面積率が20%以下なら「良」、20%を超え80%以下なら「中」、80%超えなら「劣」と判定した。

## 【0041】

【表2】

鋼種	遷移温度 (°C)	冷間 圧延	比抵抗 ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	鉄損 (W/kg)	耐食性	備考
A	+ 80	温間	54	26	劣	比較例
B	+ 90	温間	67	23	劣	比較例
C	- 50	冷間	83	18	良	発明例
D	- 50	冷間	53	29	中	比較例
E	+ 50	温間	105	16	良	発明例
F	- 20	冷間	88	17	良	発明例
G	- 60	冷間	98	16	良	発明例
H	+ 30	温間	83	19	良	発明例
I	+110	温間	84	21	中	比較例
J	- 70	冷間	96	15	良	発明例
K	+ 70	温間	133	13	良	発明例
L	> +250	温間 450°C	85	18	劣	比較例

【0042】さらに、上記の薄鋼板の表面に、ロールコータ塗布にて、表3および4に示す種々の絶縁被膜を形

成し、該被膜付き鋼板を外径：108mm φおよび内径：56mm φに打ち抜き、それを70mm厚さに積層してボルト締め

し、DCブラシレス型モデルモータを作製して騒音を測定した。その結果を、表3および4に併記する。

【0043】

【表3】

鋼種	絶縁被膜の種類	絶縁被膜 総目付量 (g/dm <sup>2</sup> )	絶縁被膜 ガラス転移点 X (°C)	絶縁被膜中の 樹脂の目付量 (g/m <sup>2</sup> )	絶縁被膜中の 樹脂比率 (mass%)	ln (Y)	(*) 騒音 dB	備考
3	クロム酸系半有機	1.5	-40	0.4	26.7	-0.916	◎	発明例
3	クロム酸系半有機	2.3	-40	0.4	47.8	0.085	◎	発明例
3	クロム酸系半有機	2.2	-20	1.1	68.2	0.405	◎	発明例
3	クロム酸系半有機	0.8	0	1.5	37.5	-1.204	◎	発明例
3	クロム酸系半有機	4.8	0	0.3	83.3	1.386	◎	発明例
5	クロム酸系半有機	3.5	20	4.0	57.1	0.693	◎	発明例
6	有機	8.0	20	2.0	100.0	2.079	◎	発明例
7	クロム酸系半有機	2.2	40	8.0	45.5	0.000	◎	発明例
8	クロム酸系半有機	3.8	60	1.0	47.4	0.588	◎	発明例
10	クロム酸系半有機	4.0	60	1.8	75.0	1.099	◎	発明例
11	有機	5.0	90	5.0	100.0	1.609	◎	発明例
3	有機	5.0	100	5.0	100.0	1.609	◎	発明例
3	有機	8.0	140	8.0	100.0	2.079	◎	発明例
3	クロム酸系半有機	0.2	-40	0.01	5.0	-4.605	○	発明例
3	クロム酸系半有機	0.4	-20	0.05	12.5	-2.996	○	発明例
3	クロム酸系半有機	0.7	0	0.05	7.1	-2.996	○	発明例
3	クロム酸系半有機	0.5	20	0.1	20.0	-2.303	○	発明例
3	クロム酸系半有機	0.9	40	0.15	16.7	-1.897	○	発明例

(\*) 1) X : 絶縁被膜なし鋼板の積層時の騒音 (比較例)

△ : 比較例に対して0~2dBの減少

○ : 比較例に対して2~5dBの減少

◎ : 比較例に対して5dB以上の減少

【0044】

【表4】

鋼種	絶縁被膜の種類	絶縁被膜 総目付量 (g/m <sup>2</sup> )	絶縁被膜 ガラス転移点 X (°C)	絶縁被膜中の 樹脂の目付量 (g/m <sup>2</sup> )	絶縁被膜中の 樹脂比率 (mass%)	ln (Y)	(+1) 騒音 評価	備考
3	クロム酸系半有機	2.5	100	2.0	80.0	0.693	○	発明例
3	クロム酸系半有機	0.1	-40	0.005	5.0	-5.293	△	発明例
3	クロム酸系半有機	0.2	-20	0.01	5.0	-4.605	△	発明例
3	クロム酸系半有機	0.1	0	0.01	10.0	-4.605	△	発明例
3	クロム酸系半有機	0.2	20	0.01	5.0	-4.605	△	発明例
3	クロム酸系半有機	0.3	40	0.04	13.3	-3.219	△	発明例
3	クロム酸系半有機	0.1	60	0.05	50.0	-2.996	△	発明例
3	クロム酸系半有機	0.4	60	0.3	75.0	-1.204	△	発明例
3	クロム酸系半有機	0.6	90	0.4	66.7	-0.916	△	発明例
3	クロム酸系半有機	7.5	90	0.8	10.7	-0.223	△	発明例
3	クロム酸系半有機	0.4	100	0.2	50.0	-1.609	△	発明例
3	クロム酸系半有機	1.5	100	1.0	66.7	0.000	△	発明例
3	クロム酸系半有機	0.8	140	0.3	37.5	-1.204	△	発明例
3	クロム酸系半有機	2.8	140	1.5	57.7	0.405	△	発明例
3	クロム酸系半有機	3.5	140	2.0	57.1	0.693	△	発明例
3	有機	12.0	150	12.0	100.0	2.485	△	発明例
3	クロム酸系半有機	0.5	20	0.003	0.6	-5.809	×	比較例
3	りん酸塩系無機	0.8	—	—	0.0	—	×	比較例
(+2)	—(なし)	—	—	—	—	—	×	比較例

(\*1) X : 絶縁被膜なし鋼板の積層時の騒音 (比較例)

比較例に対する対応として、5d以上を基準とした減算のための

(\*2) 鋼種 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11

【0045】

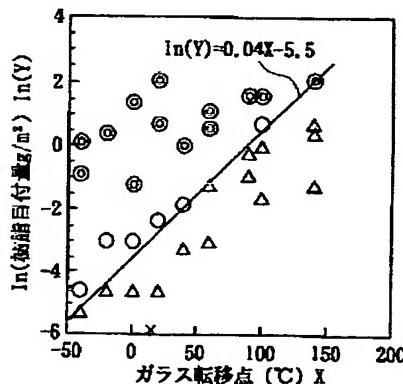
【発明の効果】この発明によれば、従来のSi量6.5 mass %までのFe-Si合金やFe-Al合金に比べて同等以上の高周波磁気特性を、優れた加工性および耐食性に併せて獲得した無方向性電磁鋼板において、その使用時に問題と

なる騒音を有利に抑制することができる。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】 絶縁被膜中樹脂のガラス転移点および目付量と騒音との関係を示す図である。

[ 1]



× : ノーコート積層時の騒音(比較)  
 △ : ノーコート積層時の騒音より若干改善(0~2dB改善)  
 ○ : ノーコート積層時の騒音より改善(2~5dB改善)  
 ◎ : ノーコート積層時の騒音より大幅改善(5dB以上改善)

フロントページの続き

(72)発明者 佐志 一道

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし)  
川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

(72)発明者 河野 正樹

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし)  
川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

(72)発明者 本田 厚人

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし)  
川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

Fターム(参考) 4K026 AA03 AA22 BA01 BA06 BB05

CA22 CA39 DA02 DA11 EB11

5E041 AA02 AA04 AA11 AA19 BC01

BC05 CA02 NN01 NN05 NN15

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**